

*Н. П. Грименицкий, А. А. Беляков*

Ивановский государственный энергетический университет  
имени В.И. Ленина, г. Иваново

[Nikita-grim@mail.ru](mailto:Nikita-grim@mail.ru)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ

*В работе исследуется влияние обогащения и формы топливной таблетки на энерговыделение в активной зоне реактора типа ВВЭР. Проводится моделирование данного процесса с использованием программ COMSOL Multiphysics и ANSYS. В работе производится анализ полученных результатов с точки зрения их влияния на экономичность и безопасность работы реактора.*

Ключевые слова: ТВЭЛ; энерговыделение; тепловой поток.

*N. P. Grimenitski, A. A. Beliaikov*

Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo

## MODELING OF PHYSICAL PROCESSES IN HEAT-FUEL ELEMENTS OF WATER-WATER REACTORS

*The effect of the enrichment and shape of the fuel pellet on the energy release in the active zone of a WWER type reactor is investigated. This process is simulated using COMSOL Multiphysics and ANSYS programs. The paper analyzes the results in terms of their impact on the efficiency and safety of the reactor.*

Key words: fuel rod; energy release; heat flow.

Ядерное топливо – материалы, используемые в ядерных реакторах для осуществления управляемой цепной ядерной реакции деления.

Топливо используется в ядерных реакторах в виде таблеток размером в несколько сантиметров, расположенных обычно в герметично закрытых тепловыделяющих элементах (ТВЭЛх), которые в свою очередь для удобства использования объединяются по несколько сотен в тепловыделяющие сборки (ТВС). К ядерному топливу применяются высокие требования по химической совместимости с оболочками ТВЭЛов, у него должна быть достаточно высокая температура плавления и испарения, хорошая теплопроводность, небольшое увеличение объёма при нейтронном облучении, технологичность производства [1].

ТВЭЛ представляет собой трубку, заполненную таблетками из диоксида урана  $UO_2$  и герметично уплотнённую. Трубка ТВЭЛа изготовлена из рекристаллизованного циркония, легированного 1 % ниобия (сплав Н-1). Плотность сплава  $6,55 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1860^\circ\text{C}$ . Для сплава Н-1 температура  $350^\circ\text{C}$  является своеобразной критической точкой, после которой прочностные свойства сплава ухудшаются, а пластические – увеличиваются. Наиболее резко свойства изменяются при температурах  $400\text{--}500^\circ\text{C}$ . При температуре выше  $1000^\circ\text{C}$  цирконий взаимодействует с водяным паром, а при  $1200^\circ\text{C}$  эта реакция протекает достаточно быстро, в течение нескольких минут, причем выделяющееся в реакции тепло разогревает оболочку до температуры плавления ( $1860^\circ\text{C}$ ). Ещё одним негативным результатом подобной реакции является образование водорода, являющегося потенциально пожароопасным [2].

Топливные таблетки, используемые для производства тепловой энергии, могут иметь различные формы, состав и обогащение. Неправильно выбранные параметры могут привести к работе блока, отличающейся от оптимальной, и даже к аварийной ситуации, вызванной расплавлением оболочки ТВЭЛов и попаданием радиоактивного топлива в теплоноситель.

Работа по изучению влияния параметров топливных таблеток была реализована в несколько этапов:

1) созданы имитационные модели топливных таблеток различной формы с различным обогащением в среде ANSYS и COMSOL Multiphysics;

2) на основании имитационной модели методом математического моделирования определено значение температуры и теплового потока на границе таблетка – оболочка ТВЭЛа;

3) проведен анализ полученных результатов путем сопоставления допустимых температур и полученных в результате расчета, а также оценка обоснованности использования данной структуры топливной таблетки ТВЭЛа.

Следует отметить, что полученные результаты нуждаются в дальнейшем исследовании, так как и соседние топливные таблетки в одном ТВЭЛе, и соседние ТВЭЛы оказывают влияние на поле энерговыделения в пределах как одной ТВС, так и всей активной зоны в целом. Последующее изучение данного вопроса поможет выбрать оптимальные параметры для топливных таблеток для всей активной зоны реактора в зависимости от их назначения.

#### Список использованных источников

1. Ядерное топливо [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерное\\_топливо](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерное_топливо) (дата обращения: 17.11.2019).
2. Горбунов В. А. Моделирование теплогидравлических процессов в ядерных реакторах в Comsol multiphysics : учеб. пособие по дисциплине «Теплогидравлические процессы в ядерных реакторах» / ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». Иваново : ИГЭУ, 2019. 180 с.